

19



CONFÉDÉRATION SUISSE

OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

51 Int. Cl.<sup>3</sup>: F 03 D

7/06

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein

Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

12 FASCICULE DU BREVET A5

11

636411

21 Numéro de la demande: 5535/80

22 Date de dépôt: 18.07.1980

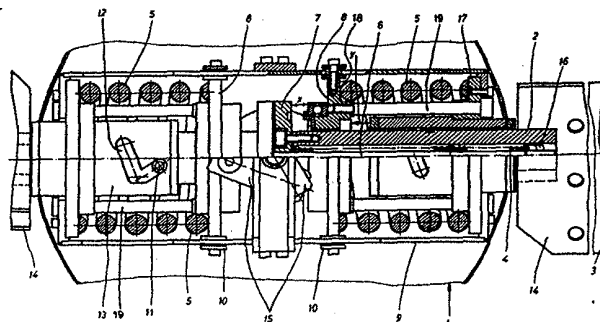
24 Brevet délivré le: 31.05.1983

45 Fascicule du brevet  
publié le: 31.05.198373 Titulaire(s):  
Forces Motrices Neuchâteloises S.A., Corcelles  
NE72 Inventeur(s):  
Marcel Jufer, Morges  
Denis Derron, Montmollin74 Mandataire:  
Bovard AG, Bern 25

## 54 Hélice motrice pour installation éolienne.

57 Dans le but d'assurer, par un mécanisme simple, compact et facile à entretenir, le réglage de l'inclinaison dans le vent des pales de l'hélice motrice en fonction de sa vitesse rotative, cette hélice comprend deux ressorts (4, 5) qui conditionnent un déplacement axial de la pale vers l'extérieur, sous l'effet de la force centrifuge, l'action de ces ressorts établissant deux gradins (x, y) de déplacement vers l'extérieur de la pale sous l'effet de la force centrifuge. Des rainures (12) et galets (11), assurent l'accomplissement par la pale (3) d'un déplacement rotatif conjointement au déplacement axial intervenant sous l'effet de la force centrifuge à l'encontre de l'action des ressorts (4, 5).

Cette hélice motrice convient particulièrement pour les installations éoliennes de production d'énergie électrique ou de pompage d'eau à une certaine profondeur en dessous du sol.



FORC. ★

Q55

H8272 K/24 ★ CH -636-411

Blade assembly for wind-operated generator or pump - includes spring mechanism allowing blades to twist, varying angle of attack with varying speed

FORCES MOTRICES NEU 18.07.80-CH-005535

X15 (31.05.83) F03d-07/06

18.07.80 as 005535 (1408BD)

The blade assembly for a wind vane, used to drive an electrical generator or a water pump, includes an arrangement to vary the angle at which the blades are inclined, as a function of their speed. Each blade of the vane is mounted on a hollow shaft with two springs one inside the shaft and one outside the shaft urging the blade radially inwards. The springs counteract the centrifugal force tending to displace the blades outwards.

Grooves and pegs are arranged to ensure that the radial displacement of the blade is accompanied by rotation about the blade axis to change the angle of attack of the blade according to its speed. The springs provide two stages of radial force as the speed of the vane rotation changes. (5pp)

N83-101737

## REVENDEICATIONS

1. Hélice motrice pour installation éolienne, comprenant un moyeu centrifuge (1) et au moins deux pales (3) liées chacune au moyeu centrifuge par un arbre creux (2), le moyeu centrifuge (1) et les pales (3) formant un ensemble rotatif qui se meut en rotation autour d'un axe sous l'effet du vent agissant sur les pales, à une vitesse qui dépend de la force du vent, caractérisée en ce que le moyeu centrifuge (1) contient, pour chaque pale (3), une paire d'organes de pression (4, 5), dont la force de résistance élastique diffère, qui sont agencés pour exercer l'un après l'autre une action de retenue à l'égard du décalage axial vers l'extérieur que la pale (3) subit, par suite de la force centrifuge, lorsque l'hélice tourne, et des moyens de réglage (11, 12) qui modifient l'angle d'inclinaison de la pale dans le vent en dépendance dudit décalage axial et, par celui-ci, en dépendance de la vitesse de rotation de l'hélice.

2. Hélice motrice selon la revendication 1, caractérisée en ce que les deux organes de pression (4, 5) sont agencés ainsi: le premier, ayant la force de résistance élastique la plus faible (4), pour conditionner une première partie dudit décalage axial qui correspond à des valeurs de force centrifuge relativement faibles qui se produisent lors du démarrage de l'hélice, et le second, ayant la force de résistance élastique la plus élevée (5), pour conditionner une dernière partie dudit décalage axial qui correspond à des valeurs de force centrifuge élevées qui se présentent lorsque l'hélice, par grand vent, tourne à une vitesse élevée, proche du maximum admissible, la différence entre les forces de résistance élastique des deux organes de pression établissant un domaine intermédiaire de valeurs de vitesses moyennes de l'hélice, dans lequel toute la partie du déplacement axial conditionnée par l'organe de pression à force de résistance élastique basse est déjà intervenue mais où la partie de déplacement axial conditionnée par l'organe de pression à force de résistance élastique élevée n'est encore pas intervenue.

3. Hélice motrice selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisée en ce que lesdits organes de pression consistent en deux ressorts hélicoïdaux coaxiaux (4, 5).

4. Hélice motrice selon la revendication 3, caractérisée en ce que ledit premier ressort hélicoïdal (4) est disposé à l'intérieur de l'arbre creux (2), autour d'une tige (6) qui pénètre dans cet arbre creux.

5. Hélice motrice selon la revendication 4, caractérisée en ce qu'une extrémité dudit premier ressort hélicoïdal (4) s'appuie contre une plaque de fermeture (7) de l'arbre creux (2), solidaire de celui-ci, à l'intérieur du moyeu centrifuge (1), l'autre extrémité de ce premier ressort hélicoïdal (4) s'appuyant contre un écrou (ou collerette) (16), fixé à l'extrémité de ladite tige (6) et, par là, solidaire du moyeu centrifuge (1), ladite plaque de fermeture (7) étant apte à se déplacer radialement, avec l'arbre creux et la plaque, d'une distance  $x$ , à l'encontre de l'action du seul premier ressort hélicoïdal (4), jusqu'à venir en appui contre un organe-chariot (8) réagissant à l'action du second ressort (5).

6. Hélice motrice selon la revendication 5, caractérisée en ce que ledit second ressort hélicoïdal (5) est disposé entre un élément (17) solidaire du moyeu centrifuge (1) et ledit organe-chariot (8), ce dernier n'étant apte à accomplir, contre l'action du ressort hélicoïdal court (5), qu'un certain déplacement axial d'une distance  $y$  qui permet à l'arbre creux (2) et à la pale (3) d'accomplir, en plus dudit déplacement  $x$ , un déplacement égal à ladite distance  $y$  lorsque la force centrifuge à laquelle la pale (3) est sujette atteint des valeurs élevées.

7. Hélice motrice selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisée en ce que lesdits moyens de réglage consistent en un galet (11) lié à l'arbre creux (2) et se déplaçant longitudinalement avec lui, et en une encoche de guidage (12) ménagée dans une douille fixe (13) solidaire du moyeu centrifuge et entourant l'arbre creux (2), ce galet (11) étant en engagement dans ladite encoche (12), de façon qu'un déplacement longitudinal du galet s'accompagne obligatoirement, par un effet de came provenant d'une forme adéquate de

2

l'encoche (12), d'un déplacement rotatif de l'arbre creux (2) et de la pale.

8. Hélice motrice selon la revendication 7, caractérisée en ce que ladite encoche de guidage (12) présente la forme générale d'un L.

9. Hélice motrice selon l'une des revendications 7 ou 8, caractérisée en ce que ladite encoche (12) comprend une première partie, parcourue par le galet (11) lors d'une première partie de déplacement axial à l'encontre de l'action de l'organe de pression (4) ayant la plus petite force de résistance élastique, qui présente une inclinaison telle qu'un déplacement axial vers l'extérieur de l'arbre creux (2) et de la pale (3) provoque un déplacement rotatif dans un sens de ces derniers, cette encoche (12) présentant par ailleurs une seconde partie, parcourue par le galet (11) lors d'un déplacement axial effectué principalement à l'encontre de l'action dudit organe de pression (5) ayant une force de résistance élastique élevée, qui présente une inclinaison telle qu'un déplacement axial de l'arbre creux (2) et de la pale (3) provoque un déplacement rotatif de ces derniers dans la direction inverse de celui intervenu alors que le galet (11) parcourait ladite première partie de l'encoche (12).

La présente invention concerne une hélice motrice pour installation éolienne, comprenant un moyeu centrifuge et au moins deux pales liées chacune au moyeu centrifuge par un arbre creux, le moyeu centrifuge et les pales formant un ensemble rotatif qui se meut en rotation autour d'un axe sous l'effet du vent agissant sur les pales, à une vitesse qui dépend de la force du vent.

Dans une installation éolienne, c'est-à-dire une installation fournissant une force motrice à partir du vent, de ce genre, il est nécessaire de modifier l'inclinaison des pales dans le vent en relation avec la vitesse du vent, afin d'éviter l'endommagement, voire la destruction, des parties rotatives, notamment du générateur électrique qu'une telle éolienne entraîne le plus souvent, qu'une vitesse rotative par trop élevée entraînerait du fait de la force centrifuge et, en ce qui concerne le générateur, également du fait de la surcharge électrique consécutive à une vitesse rotative par trop élevée.

L'exposé de demande de brevet allemande N° 2444948 publiée avant examen propose un mécanisme de réglage de ce genre dans lequel, pour obtenir une modification de l'angle d'inclinaison des pales, ces dernières sont sujettes, par rapport au moyeu qui les porte, à un mouvement rotatif hélicoïdal, les pales étant montées d'une façon rotative sur des tourillons qui s'étendent radialement par rapport à l'axe de l'hélice. Les pales sont déplacées vers l'extérieur par l'effet de la force centrifuge, à l'encontre d'une force élastique de ressort, et elles subissent en même temps une rotation autour de l'axe du tourillon qui les porte. Dans ce but, un ressort de réglage est logé dans chacun desdits tourillons, lesquels sont par ailleurs soudés à l'axe du rotor de l'hélice. Une rotation hélicoïdale des pales est obtenue par l'effet d'une rainure en forme de spirale établie dans un manteau extérieur, solidaire de la pale, entourant l'agencement de palier de cette pale, un organe de guidage solidaire du tourillon se trouvant en engagement avec cette rainure hélicoïdale.

Cette solution est techniquement relativement compliquée, étant donné que le ressort situé dans le tourillon, de même que les moyens de réglage, se trouvent disposés à l'extérieur du moyeu centrifuge. De plus, cette manière de faire antérieurement connue ne tient pas compte des différentes phases dans lesquelles peut se situer le mouvement rotatif de l'hélice, c'est-à-dire qu'elle ne tient pas compte du fait que des conditions particulières et différentes existent, par exemple, au moment des démarrages de l'installation éolienne ou, au contraire, au moment où une forte vitesse du vent tendrait à emballer l'hélice, ce qui doit absolument être évité. Le dispositif de réglage doit donc avoir un effet différencié, voire opposé, dans le domaine des vitesses rotatives faibles et dans le domaine des vitesses rotatives relativement élevées. Cela n'était pas possible avec le dispositif

connu précité. Par ailleurs, celui-ci ne pouvait pas assurer le maintien de l'angle d'inclinaison à une valeur constante dans un certain domaine de vitesses moyennes.

Le but de la présente invention est de fournir une hélice motrice d'installation éolienne qui soit techniquement simple à réaliser, dont l'entretien ne présente pas de problème et qui soit exempte de certains inconvénients et insuffisances qui grevaient les dispositions analogues de l'art antérieur. L'hélice d'installation éolienne selon l'invention doit permettre, et assurer, un réglage adéquat et nuancé de l'inclinaison des pales, tenant compte des différentes phases (ou domaines) des vitesses de rotation possibles de l'hélice.

L'objet de l'invention, correspondant à la définition générique précédemment énoncée, atteint ce but par la présence, conjointement aux caractères impliqués par cette définition générique, des caractères particuliers énoncés dans la caractéristiques de la première revendication.

Les revendications suivantes définissent des formes d'exécution particulièrement avantageuses de l'objet de l'invention, notamment en ce qui concerne la construction des organes de pression, avantageusement constitués de deux ressorts hélicoïdaux cylindriques dont l'un est plus long et notablement moins fort que l'autre, et notamment aussi en ce qui concerne la constitution des moyens de réglage qui sont avantageusement une poulie (ou un rouleau suiveur) montée sur l'arbre creux solidaire de la pale et engagée dans une rainure de guidage ménagée dans un manteau cylindrique fixe, cette rainure ayant une configuration telle qu'un déplacement axial de l'arbre creux s'accompagne adéquatement d'un déplacement rotatif de cet arbre creux et de la pale autour de l'axe de l'arbre creux.

Le dessin annexé illustre, à titre d'exemple, une forme d'exécution de l'objet de l'invention; son unique figure représente, partiellement en coupe, le moyeu centrifuge de l'hélice et les divers éléments et organes qui y sont logés, cette figure montrant encore une petite portion, voisine du moyeu centrifuge, des pales de l'hélice.

L'hélice d'installation éolienne consiste en un moyeu centrifuge 1 et en au moins deux pales 3 qui sont liées au moyeu centrifuge chacune par l'intermédiaire d'un arbre creux 2. Dans la forme d'exécution représentée, l'arbre creux est solidaire de la pale tandis que des organes solidaires du moyeu centrifuge se situent, d'une part, à l'intérieur de l'arbre creux et, d'autre part, autour de celui-ci. En variante, cette disposition pourrait naturellement être inversée. Les pales sont montées dans des plaques d'acier 14 à une extrémité desquelles sont soudés les arbres creux 2, respectivement. Le moyeu centrifuge 1, portant les arbres creux 2 et les pales 3, forme un ensemble susceptible de se mouvoir en rotation autour d'un axe substantiellement vertical ou horizontal, sous l'effet du vent, à une vitesse de rotation influencée par la force du vent.

A l'intérieur du moyeu centrifuge 1 se trouvent deux paires de ressorts hélicoïdaux 4 et 5 qui sont de dimensions notablement différentes. L'un des ressorts hélicoïdaux 4, de chacune des paires, est fait d'un fil dont le diamètre est notablement plus petit que le diamètre du fil dont est fait l'autre ressort hélicoïdal, 5, de la paire. La longueur du ressort hélicoïdal 4 est supérieure à la longueur de l'autre ressort hélicoïdal 5, lequel entoure une partie de l'arbre creux et du ressort 4 situé à l'intérieur de l'arbre creux. On a une paire de ressorts hélicoïdaux 4, 5 pour chaque pale 3 de l'hélice; dans le cas où l'on aurait plus de deux pales, on aurait également plus de deux paires de ressorts hélicoïdaux. Les deux ressorts hélicoïdaux attribués à une pale sont disposés de façon à contrecarrer le déplacement axial vers l'extérieur que la pale correspondante tend à effectuer, sous l'action de la force centrifuge, lorsque l'hélice est mue en rotation par le vent.

Chaque ressort hélicoïdal long 4 se trouve à l'intérieur de l'arbre creux correspondant, où il entoure une tige 6 fixée par une extrémité au moyeu centrifuge 1 et pénétrant à l'intérieur de l'arbre creux 2. Ce ressort s'appuie à une extrémité contre un écrou 16, de préférence à surface extérieure cylindrique vissée à l'extrémité de la tige 6, et, à son autre extrémité, s'appuie contre une plaque de fermeture 7 fixée à l'extrémité libre de l'arbre creux 2 et dont le diamètre intérieur cor-

respond, à un jeu de coulissement près, au diamètre extérieur de la tige 6, le diamètre extérieur de l'écrou 16 correspondant quant à lui, également à un jeu de coulissement près, au diamètre intérieur de l'arbre creux. Le ressort hélicoïdal 4 est donc logé dans un espace annulaire pratiquement fermé, situé entre la tige 6 et l'arbre creux 2, et son action élastique tend à ramener l'arbre creux 2 vers l'intérieur du moyeu centrifuge 5. Lorsque la pale correspondante 3, lors du mouvement rotatif de l'hélice, se trouve tirée vers l'extérieur par l'effet de la force centrifuge, l'arbre creux 2, avec sa plaque de fermeture 7, se déplace axialement, avec la pale, à l'encontre de l'action du ressort hélicoïdal long 4 logé dans l'arbre creux 2. Dans ces conditions, la plaque de fermeture 7 se déplace axialement d'une distance  $x$ , jusqu'à ce qu'elle vienne buter contre un chariot 8. Ce dernier, qui est pourvu vers l'extérieur d'au moins deux poulies 10 qui roulent dans une encoche longitudinale ménagée, pour chaque poulie, dans une plaque de guidage 9, constitue une surface d'appui 18 contre laquelle vient s'appuyer une extrémité du ressort hélicoïdal court 5, disposé à l'extérieur de l'arbre creux 2 qu'il entoure, à une certaine distance. L'autre extrémité du ressort hélicoïdal court 5 s'appuie contre une butée d'arrêt 17, fixe par rapport au moyeu centrifuge (de préférence fixée par des vis à une joue annulaire d'extrémité à laquelle les plaques de guidage 9 sont soudées). Comme la force nécessaire pour vaincre l'action du ressort hélicoïdal 5, jusqu'à amener la plaque de fermeture 7 en appui contre le chariot 8, est (ou en tous les cas peut être) nettement inférieure à la force nécessaire pour comprimer le ressort hélicoïdal court 5, la force d'action centrifuge croissante qui a amené la plaque de fermeture 7 en appui contre le chariot 8 peut encore subir une notable augmentation avant de provoquer un déplacement du chariot 8 à l'encontre du ressort hélicoïdal court 5. Selon le réglage et le dimensionnement du dispositif, la plage de valeurs de forces qui ne provoque pas de nouveaux déplacements de la pale vers l'extérieur peut être très réduite ou très large. Lorsque cette force a atteint une certaine valeur limite, déterminée par les caractéristiques du ressort 5, elle provoque, du fait de l'appui de la plaque de fermeture 7 contre le chariot 8, un déplacement de ce dernier à l'encontre de l'action du ressort hélicoïdal court 5. Un certain déplacement vers l'extérieur  $y$  de la pale 3, entraînant l'arbre creux 2, la plaque de fermeture 7 et le chariot 8, est encore possible, ensuite de quoi le chariot 8 vient buter contre l'extrémité d'une douille cylindrique 13 solidaire du moyeu centrifuge, tout déplacement axial plus loin vers l'extérieur étant dès lors empêché.

Un dispositif de réglage de la position angulaire est dévolu à chaque pale 3, ce dispositif étant également logé dans le moyeu centrifuge. Comme on le voit au dessin, il consiste en un galet 11 monté sur un téton fixé à l'extérieur de l'arbre creux 2, ce galet étant en engagement dans une encoche de guidage 12 ménagée dans la douille cylindrique fixe 13 qui entoure l'arbre creux 2. Cette encoche de guidage 12 présente, comme on le voit au dessin, la forme générale d'un L.

On comprend aisément que, lorsque sous l'effet de la force centrifuge engendrée par le mouvement rotatif de l'hélice l'arbre creux 2, portant la pale 3, se déplace axialement vers l'extérieur, à l'encontre tout d'abord du ressort long 4, puis du ressort court 5, le galet 11, qui subit le même déplacement axial, impose à l'arbre creux un déplacement rotatif donné par l'effet de came de l'encoche 12. Ainsi, l'inclinaison de la pale est rendue dépendante de la vitesse de rotation de celle-ci.

On voit en 15 un agencement à levier qui assure une synchronisation du mouvement axial des deux pales 3. Ce dispositif serait tout aussi facilement réalisable s'il existait trois pales, dont les mouvements axiaux devraient similairement être synchronisés.

Dans le cas d'un fonctionnement normal de l'hélice, c'est le ressort hélicoïdal long et faible 4 qui travaille, se comprimant d'une certaine longueur allant jusqu'à la distance  $x$ . Simultanément, le galet 11 roule dans une partie de la forme de L de l'encoche 12 ayant une pente telle que l'inclinaison des pales diminue, permettant d'ob-

tenir une meilleure utilisation d'un vent dont la force augmente à l'intérieur d'un domaine dans lequel aucun emballement de l'hélice n'est à craindre. Ensuite, comme on l'a vu, la force du vent peut augmenter dans une certaine mesure, faisant augmenter encore la vitesse de rotation de l'hélice, mais sans que l'inclinaison de ces pales ne subisse une nouvelle variation. Enfin, lorsque la force du vent atteint une certaine valeur critique, une légère augmentation de la vitesse de l'hélice amène la force centrifuge à une valeur telle qu'un nouveau déplacement vers l'extérieur est possible, avec coulisement du chariot 8 à l'encontre du ressort court et fort 5. A ce moment-là, le galet se déplace dans l'autre partie de la forme de L de l'encoche 12, dont l'inclinaison est telle qu'un très léger déplacement axial augmente l'inclinaison des pales de telle façon que le vent perd la plus grande partie de son efficacité et ne risque pas de provoquer l'emballement de l'hélice. Il y a lieu d'indiquer que, dans les considérations qui précèdent, l'angle d'inclinaison est admis comme nul lorsque l'hélice oppose au vent une surface d'arrêt uniquement perpendiculaire à la direction du vent, l'inclinaison étant considérée comme augmentant (théoriquement jusqu'à une valeur maximale de 90°) au moment où la surface des pales devient oblique par rapport au vent (à la limite, avec l'angle maximal de 90°, les pales ne seraient plus que des lamelles dirigées parallèlement à la vitesse du vent et n'ayant plus d'effet d'entraînement rotatif). Il est clair que, si l'on se rapporte à un système d'inclinaison inverse (angle minimal, lamelles parallèles au vent; angle maximal, lamelles perpendiculaires au vent, arrêtant celui-ci), les notions d'augmentation et de diminution d'inclinaison de l'hélice, dans les considérations précédemment énoncées, devraient être inversées.

On remarque que, à l'aide du dispositif qui vient d'être décrit, l'inclinaison des pales est toujours choisie de façon optimale, cette inclinaison variant en cours de fonctionnement si la vitesse du vent se modifie. Les paramètres techniques constitués par les coefficients d'élasticité des deux ressorts 4 et 5, de même que par la forme, modifiable à volonté, de l'encoche 12, permettent de donner au fonctionnement de l'hélice toutes les caractéristiques désirables, dans les différentes conditions qui peuvent se rencontrer dans le cas d'une installation éolienne.

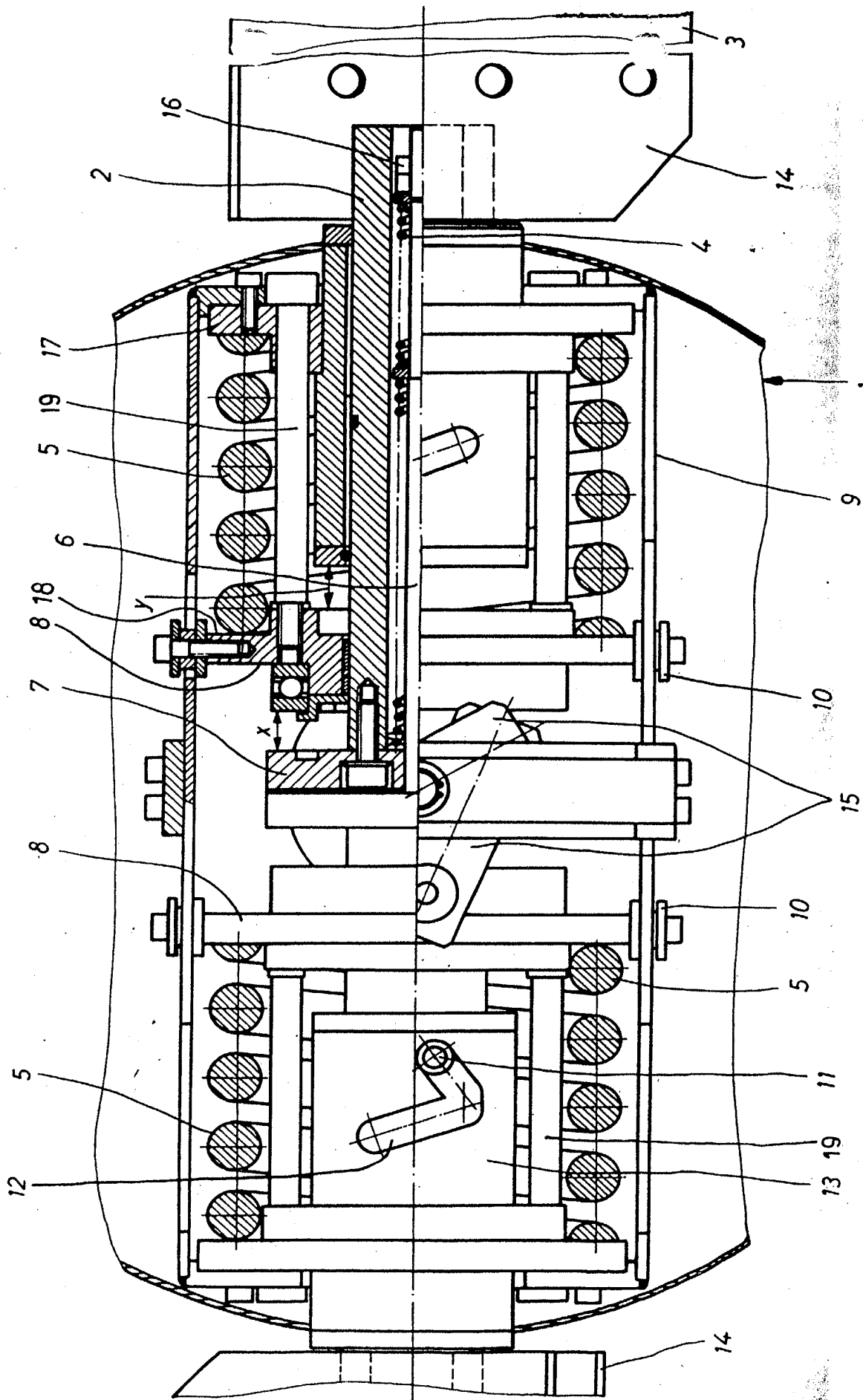
Le dispositif en question est en fait un dispositif mécanique qui tire son énergie de réglage de la fonction du mouvement des masses des pales, lesquelles se déplacent ainsi sous l'action, contrôlée, de la force centrifuge.

Avec un dispositif selon la conception particulière décrite, il est possible:

- a) de modifier adéquatement l'inclinaison des pales de l'hélice durant la phase de démarrage de l'installation éolienne,
- b) de laisser l'angle d'inclinaison des pales à une valeur déterminée dans un certain domaine de vitesses prédéterminées,
- c) de modifier à nouveau l'angle d'inclinaison des pales pour établir une bonne stabilisation de la vitesse de l'hélice (et ainsi éviter tout risque d'emballement) lorsque la vitesse du vent dépasse une certaine valeur prédéterminée.

La disposition, pour chaque pale, d'une paire de moyens de pression et d'un organe de réglage à l'intérieur du moyeu centrifuge 1 de l'hélice permet un entretien simple de ces organes et constitue une solution technique avantageuse.

On note que des vis 19, dont seule l'extrémité est filetée, sont vissées dans le chariot 18, ces vis comportant une partie cylindrique qui traverse la butée d'arrêt 17, de façon que la tête de chacune de ces vis soit en appui contre la face extérieure de la butée 17. Cet appui détermine la distance maximale entre la face 18 du chariot 8 et la butée 17, c'est-à-dire qu'elle détermine le degré de compression préalable du ressort hélicoïdal 5. Ces vis 19 établissent donc la position au repos du chariot 18. Cette position au repos, conjointement avec les caractéristiques du ressort court 5 du chariot 8 et la face latérale de la butée 7, détermine donc la force de compression du ressort 5 au départ et, par là, la limite supérieure du domaine de forces dans lequel se présente un gradin de déplacement vers l'extérieur des pales, c'est-à-dire dans lequel aucun déplacement longitudinal des pales n'intervient. La limite inférieure de ce domaine de forces, intermédiaire, est établie par les caractéristiques du ressort long 4, conjointement avec la longueur que l'espace annulaire dans lequel il se trouve présente au moment où la pièce de fermeture 8 est en appui contre le chariot en position de repos, c'est-à-dire où la longueur originale de cet espace a été diminuée de la distance x.



de qui  
 masses  
 de la  
 , il est  
 étermi-  
 our  
 si éviter  
 une  
 de pres-  
 ge 1 de  
 e une  
 ont  
 idrique  
 ne de  
 Cet  
 rriot 8 et  
 ssion  
 la posi-  
 tement  
 face la-  
 du  
 e de  
 l'exté-  
 ngitudi-  
 de  
 assort  
 e dans  
 are 8 est  
 où la  
 e x.